

## **МНОГОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА**

*Мовчанюк А. В., к.т.н., доц.; Федоренко И. В.*

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Распространение ультразвука большой интенсивности в жидкости сопровождается целым рядом физических явлений. При этом основное технологическое воздействие оказывает кавитация. Интенсивность кавитационных явлений оценивают числом кавитации [1] и амплитудой звукового давления:

$$\chi = \frac{P_0 - P_H}{p_a}; \quad p_a = \sqrt{\rho \cdot c \cdot w} \cdot 4.6 \cdot 10^{-3},$$

где  $P_0$  — гидростатическое давление;  $P_H$  — давление насыщенных паров жидкости;  $p_a$  — амплитуда звукового давления,  $\rho$  — плотность жидкости;  $c$  — скорость распространения ультразвуковой волны в жидкости;  $w$  — интенсивность ультразвуковых колебаний Вт/см<sup>2</sup>.

Как видно из приведенных выражений, акустические параметры жидкости — плотность и скорость звука, оказывают существенное влияние на интенсивность ультразвуковой кавитации. Возникновение кавитации уменьшает волновое сопротивление жидкости и нагрузку на ультразвуковой излучатель.

При проектировании ультразвуковой технологической аппаратуры все расчеты ведут для докавитационного режима, а затем по результатам испытаний вносят необходимые правки и изменения в конструкцию. В настоящее время существуют два основных метода измерения скорости распространения ультразвуковой волны — интерферометрический и импульсный. Интерферометрический метод основан на определении длины ультразвуковой волны при известной частоте колебаний. Импульсный метод — на измерении промежутка времени, в течение которого ультразвуковая волна проходит известное расстояние.

В условиях развитой кавитации интерферометрический метод измерения сложен в реализации. Это связано со сложностью нахождения локальных минимумов и максимумов звукового давления в кавитирующей жидкости. Импульсный метод измерения обходит проблему нахождения экстремумов. Однако, в связи с тем, что акустический сигнал в кавитирующей жидкости имеет широкий спектр с большим количеством гармонических и субгармонических составляющих [2], измерительная система должна обладать избирательными свойствами.

Авторы данной работы предлагают многочастотный импульсный метод измерения скорости распространения ультразвуковых волн в жидко-

сти. В основе метода лежит использование изгибных резонансов излучающего и приемного пьезопреобразователей импульсного измерителя скорости звука [3]. Это позволяет при дискретном наборе рабочих частот отстроиться от помех акустического шума кавитирующей жидкости.

Для проверки возможности использования изгибных резонансов пьезопреобразователя был разработан экспериментальный стенд (рис. 2). В торцах цилиндрической камеры с водой диаметром 1 см и длиной 10 см были размещены два пьезокерамических диска. При этом один диск возбуждался от генератора, а второй использовался в качестве приемника звуковых сигналов. На излучающий пьезоэлемент с генератора подавали синусоидальный сигнал амплитудой 20 В и частотой от 100 кГц – 1 МГц. Сигнал с приемного пьезоэлемента регистрировался осциллографом.

Результаты измерений (рис. 1) показывают, что ультразвуковой пьезопреобразователь может достаточно эффективно использоваться на частотах изгибных резонансов. При этом рабочие частоты изменяются не на целочисленные значения, что хорошо согласуется с данными предыдущих работ. Ультразвуковой пьезопреобразователь в режиме приема акустических колебаний может работать как в режиме источника напряжения, так и в режиме источника тока.

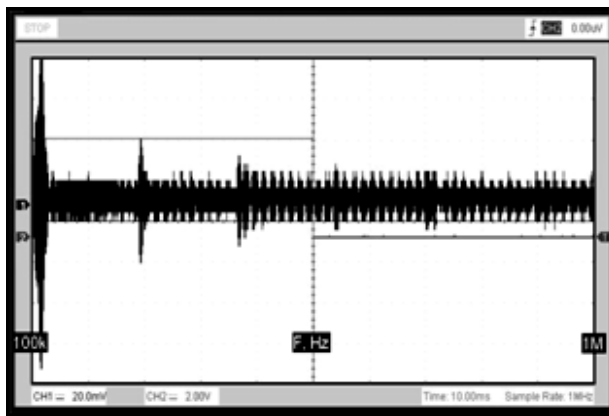


Рисунок 1. АЧХ измерительного тракта на частотах 100кГц – 1МГц

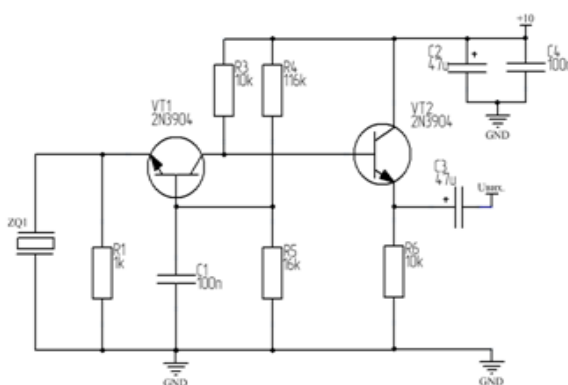


Рисунок 2. Согласующий усилитель

Режим работы при этом будет определяться сопротивлением нагрузки. С целью повышения помехоустойчивости, предпочтительнее использовать режим генератора тока. При этом входной усилитель должен обладать малым входным сопротивлением, например, равным сопротивлению стандартного 50-омного коаксиального кабеля (рис.2). Разработанный усилитель имеет входное сопротивление 50 Ом и коэффициент усиления 40дБ с неравномерностью 1дБ

в полосе рабочих частот пьезопреобразователя.

Сквозная амплитудно-частотная характеристика с использованием в качестве нагрузки широкополосного усилителя представлена на рис. 3.

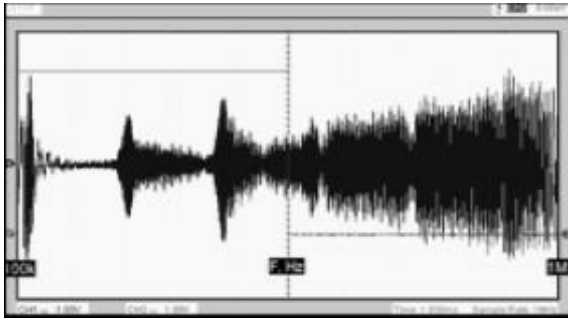


Рисунок 3. АЧХ измерительного тракта с усилителем на частотах 100кГц – 1МГц

В дальнейшем авторы планируют разработать автоматизированный измерительный комплекс по измерению скорости звука основанный на многочастотном импульсном методе. При этом для увеличения помехоустойчивости системы структура приемного тракта измерителя будет аналогична структурной схеме супергетеро-

динного радиоприемника[4]. Переключение частот приема будет производиться изменением частоты гетеродина, а полоса пропускания останется неизменной при изменении рабочей частоты излучающих пьезокерамических преобразователей. Предложенная структурная схема измерителя скорости звука в кавитирующей жидкости позволит получить высокую точность при изменяющейся интенсивности ультразвуку

#### **Перечень источников**

1. Голямина И. П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Глав. ред. И. П. Голямина. — М.: «Советская энциклопедия», 1979. — 400с., илл.
2. Розенберг Л. Д. Мощные ультразвуковые поля / Л. Розенберг, издательство: Наука, 1968. — 268 с.
3. Мовчанюк А. В., Луговской А. Ф., Федоренко И. В. Метод регулирования дисперсности аэрозоля в медицинских ингаляторах. // РТПСАС, материалы конференции 10-16 марта 2014 ISSN 2311-4169.
4. Воллернер Н. П. Радіоприймальні пристрої: Навч. посібник. – К. : Вища шк., 1993. – 391с. – Рос. ISBN 5-11-004060-5

#### **Анотація**

Розглянута можливість многочастотного импульсного методу вимірювання швидкості звуку в кавітуючій рідині. Представлено результати експериментів, а також запропоновано схемотехнічне рішення для погодження вимірювального тракту.

Ключові слова: ультразвук, швидкість звуку, кавітація.

#### **Аннотация**

Рассмотрена возможность многочастотного импульсного метода измерения скорости звука в кавитирующей жидкости. Представлены результаты экспериментов, а также предложено схемотехническое решение по согласованию измерительного тракта.

Ключевые слова: ультразвук, скорость звука, кавитация.

#### **Abstract**

The possibility of multi-frequency pulse method for measuring the speed of sound in the cavitating liquid is considered. The results of the experiments, as well as suggested circuit solution by agreement of meter tract.

Keywords: ultrasound, sound velocity, cavitation.